

유입 방향에 따른 알루미늄 평행류 열교환기 헤더내 공기-물 2상류 분지 실험

김 내 현 [†] · 함 정 호 ^{*} · 박 태 균 ^{*} · 김 도 영 ^{*}

Air-water two-phase distribution in an aluminum parallel flow heat exchanger header having different inlet orientations

Nae-Hyun Kim [†], Jung-Ho Ham ^{*}, Tae-Kyun Park ^{*} and Do-Young Kim ^{*}
Department of Mechanical Engineering, University of Incheon, Incheon, Korea

Key Words : Parallel flow heat exchanger(평행류 열교환기), Header(헤더), Two-phase distribution(이상류 분배), Air-water(물-공기), Inlet orientation(유입방향)

Abstract

The air and water flow distribution are experimentally studied for a round header – ten microchannel tube configuration. Three different inlet orientations (parallel, side, normal) were investigated. Tests were conducted with downward flow configuration for the mass flux from 70 to 130 kg/m²s, quality from 0.2 to 0.6, non-dimensional protrusion depth (h/D) from 0.0 to 0.5. It is shown that, for almost all the test conditions, normal inlet yielded the best flow distribution, followed by side and parallel inlet. Possible reasoning is provided using flow visualization results.

기호설명

G : 질량유속 [kg/m^2s]
 h : 평판관 삽입깊이 [mm]
 D : 헤더 내경 [mm]
 x : 건도

1. 서론

알루미늄 평판관 열교환기는 루버회과 평판관으로 구성된다. 공기는 루버회 사이를 흐르고 냉매는 수력직경 1~2mm의 다채널 평판관 내로 흐른다. 이 열교환기는 자동차 응축기로 널리 사용되고 있고 전열성능이 기존 환-관 열교환기보다 우수하여 가정용 공조기의 응축기 및 증발기로 적극 검토되고 있다.

냉매측은 헤더에 여러 개의 평판관이 병렬로 연결된 구조로 되어 있다. 이는 냉매를 분지함으로써 관내 압력손실이 과대해지는 것을 막기 위함이다. 이 경우 각각의 평판관에 균일하게 냉매를 분배하는 것이 중요하게 된다.

[†] 인천대학교 기계공학과 교수

E-mail : knh0001@incheon.ac.kr

TEL : (032)770-8420 FAX : (032)770-8410

* 인천대학교 기계공학과 대학원

평판관 열교환기가 증발기로 사용되는 경우 공기층에 결로에 의해 생성된 응축액의 배출을 용이하게 하기 위하여 평판관은 수직으로(헤더는 수평으로) 배열된다. 이 경우 냉매의 유입에는 세 방향이 있을 수 있다 (Fig. 1 참조).

냉매는 헤더와 평행한 방향으로 유입될 수도 있고(parallel inlet, 평행유입), 헤더의 측면에서 공급될 수도 있다(side inlet, 측면유입). 또는 헤더의 상부에서 공급될 수도 있다(normal inlet, 수직유입). 냉매 유입 방향 외에도 헤더내도 돌출된 평판관의 삽입 깊이 또한 채널간 유량분배에 중요한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.

그간 헤더내의 2 상류 분지에 관해서는 일부 연구가 보고되었다. Watanabe et al.^[1]은 내경 20mm의 수평 원형헤더와 4개의 내경 6mm 수직 원형 분지관에 대하여 R-11을 사용하여 상향류 분지 실험을 수행하였다. 실험은 질량유속 40~120 kg/m^2s , 건도는 0~0.4 범위에서 수행되었는데 유량분배는 질량유속과 건도에 크게 영향을 받았다. Thomkins et al.^[2]은 수평 직사각형 헤더와 15개의 수직 평판관으로 이루어진 시험부에서 물-공기를 사용하여 상향류 분지 실험을 수행하였다. 질량유속 50~400 kg/m^2s , 건도는 0~0.4 범위에서 수행되었는데 유량분배는 질량유속과 건도에 크게 영향을 받았고 낮은 질량유속에서 좀더 균일한 유량분배를 얻을 수 있었다. Vist and Pettersen^[3]은 직경이 다른 두개의 수평 원형헤더(내경 8mm와 16mm)에 내경 4mm의 수직 원형 분지관이 10개 장착된 시험부에서 R-134a를 사용하여 분지 실험을 수행하였다. 실험은 상향류와 하향류에 대하여 수행되었고 질량유속은 124~836 kg/m^2s , 건도는 0~0.5까지 변화되었다. 하향류의 경우 대부분의 액체는 헤더의 앞부분에 있는 분지관으로 흘렀다. 하지만 상향류에서는 대부분이 헤더 뒤쪽으로 몰려 흘렀다. 액체 유량 분포는 건도가 증가할수록 개선되었고 질량유속은 크게 영향을 미치지 않았다. Lee and Lee^[4]는 수직 직사각형 헤더(24×24mm)에 5개의 수평 직사각형 분지관이 설치된 형상에서 물-공기를 사용하여 분지실험을 수행하였다. 유량분배는 분지관의 삽입깊이에

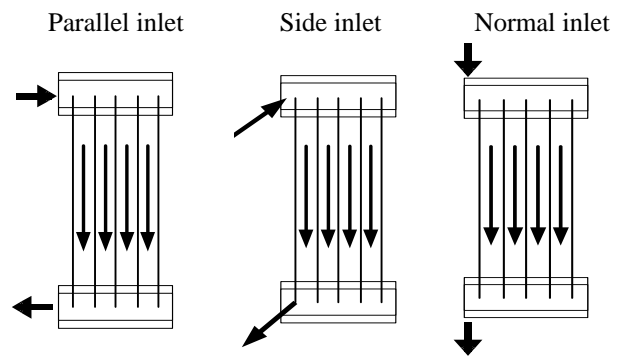


Fig. 1 Flow inlet orientations

따라 크게 영향을 받았는데 삽입 깊이가 증가할수록 헤더의 후방에 있는 분지관에 흐르는 물유량이 증가하였다. Cho et al.^[5]은 원형헤더와 15개의 평판관으로 구성된 시험부에서 R-22를 사용하여 헤더 방향과 냉매 유입관의 방향이 유량분배에 미치는 영향을 검토하였다. 질량유속은 60 kg/m^2s 로 고정되고 건도는 0~0.3까지 변화되었다. 수직헤더의 경우 대부분의 액체유량은 헤더의 전방부로 흘렀고 냉매유입 방향은 별다른 영향을 미치지 않았다. 하지만, 수평헤더에서는 냉매의 유입방향에 따라 유량분배가 크게 변화였는데 평행유입보다는 측면유입이나 수직유입에서 개선된 유량분배를 얻을 수 있었다. Kim et al.^[6]은 내경 17mm의 수평 원형 헤더에 수력직경 1.32mm인 평판관이 10개 장착된 시험부에 대하여 물과 공기를 사용하여 질량유속 70~130 kg/m^2s , 건도 0.2~0.6, 무차원 분지관 삽입깊이(h/D) 0.0~0.5의 범위에서 실험을 수행하였다. 하향류의 경우 물은 삽입깊이, 질량유속, 건도가 증가할수록 헤더 후방으로 이송되었다. 하지만 상향류의 경우는 질량유속과 건도가 증가할수록 헤더 전방으로 이송되었다. Rong et al.^[7], Bernoux et al.^[8]은 판형 열교환기에 대한 냉매 분배 실험을 수행하였다.

상기 문헌 조사는 유입 방향이 헤더 내 유량 분배에 미치는 영향에 연구는 Cho et al.^[5]이 유일함을 보여준다. 하지만 그들의 연구는 제한된 질량유속과 건도에서 수행되었고 삽입깊이의 영향은 검토되지 않았다. 본 연구는 Kim et al.^[6]의 후속 연구로 동일한 시험부(내경 17mm 수평 원형헤더에 10개의 평판관이 수직으로

장착된 시험부)에 대하여 하향유동시 유입방향(평행유입, 측면유입, 수직유입)이 유량분배에 미치는 영향을 물-공기를 사용하여 검토하였다. 이 때 유입구와 유출구는 Fig. 1에 나타나 있듯이 시험부의 동일한 측면에 위치하도록 하였다. 시험은 질량유속 $70 \sim 130 \text{ kg/m}^2\text{s}$, 건도 $0.2 \sim 0.6$, 무차원 평판관 삽입깊이 $0.0 \sim 0.5$ 범위에서 수행되었다.

2. 실험 장치

Fig. 2에 실험장치의 개략도를 나타내었다. 시험부는 91cm 간격의 내경 17mm의 상하부 헤더와 9.8mm 핏치의 10개 평판관으로 구성되었다. 헤더는 가시화를 위하여 투명 PVC를 가공하여 제작하였다. 시험부 중간에는 각 평판관내 유량 측정을 위하여 평판관과 6.0mm 내경의 원관을 연결하기 위한 연결블록이 두 곳 설치되었다. 시험부로는 각각의 유량이 계측된 물(질량유량계 사용)과 공기(체적식 유량계 사용)가 믹서에서 혼합된 후 2상 상태로 공급된다. 각 평판관에 흐르는 유량은 밸브를 조작하여 평판관의 유량을 기액분리기로 흐르게 한 후 공기와 물의 유량을 각각 계측하였다. 공기 유량은 체적식 유량계로 계측하였고 물의 유량은 배출되는 물을 메스실린더로 계측하였다.

유량 계측시 유의할 점은 유동계측 전후의 평판관내 유동상태가 변화되어서는 안된다는 것이다. 이를 위하여 헤더 전단과 평판관 하부에 차압계를 설치하여 유동계측 전후에 차압이 일정하게 유지되도록 밸브를 조정하였다. 실험에 사용된 질량유량계의 정확도는 $\pm 1.5 \times 10^{-6} \text{ kg/s}$ 이고, 체적식 유량계의 정확도는 $\pm 1\%$ 이내에 있었다. 반복 실험 결과 물 유량은 $\pm 10\%$ 내에서, 공기 유량은 $\pm 5\%$ 내에서 재현이 가능하였다. Fig. 3에 본 실험에 사용된 평판관의 단면이 나타나있다. 수력직경은 1.32mm 이고 유동 단면적은 12.24mm^2 이다.

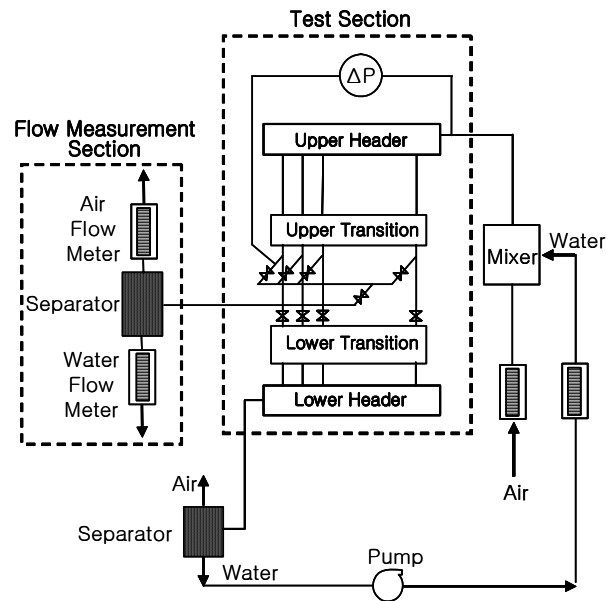


Fig. 2 Schematic drawing of the apparatus

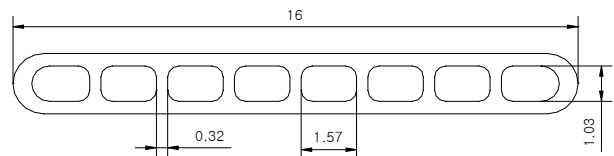


Fig. 3 Cross-sectional view of the microchannel tube used in this study (unit : mm)

3. 실험 결과 및 논의

Fig. 1에 나타난 바와 같은 입출구 방향이 유량분배에 미치는 영향을 검토하였다. Fig. 4에 $G = 100 \text{ kg/m}^2\text{s}$, $x = 0.2$, $h/D = 0.0$ 에서 유입 방향에 따른 유량 분배를 나타내었다. 이 그림은 유입 방향이 유량 분배에 커다란 영향을 미침을 보여준다. 평행 유입의 경우 헤더의 전방부로 많은 물이 공급되고 후방에는 적은 양의 물이 공급된다. 측면 유입이 되면 전방에 공급되는 물은 줄어들고 후방에 보다 많은 물이 공급된다. 이러한 경향은 수직 유입에서 더욱 현저하게 나타나는데 이 경우는 후방 채널에 좀 더 많은 물이 흐름을 알 수 있다. Fig. 5에 유동 스캐치를 나타내었다. 평행유입의 경우는 헤더 하부 액막의 두께가 흐름 방향으로 감소하는데 반하여 측면 유입과 수직 유입의 경우는 헤더 후방에 상당히 두꺼운 액막이 형성됨을 알 수 있다. 측면 유입의 경우는 측면에서 유입된 물이

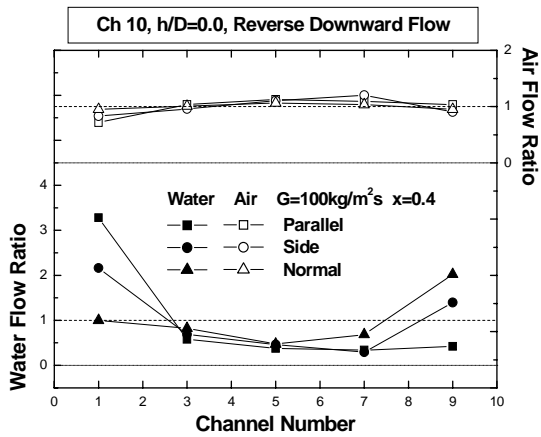


Fig. 4 Effect of inlet orientation on air and water flow distribution at $G = 100 \text{ kg/m}^2\text{s}$, $x = 0.4$, $h/D = 0.0$

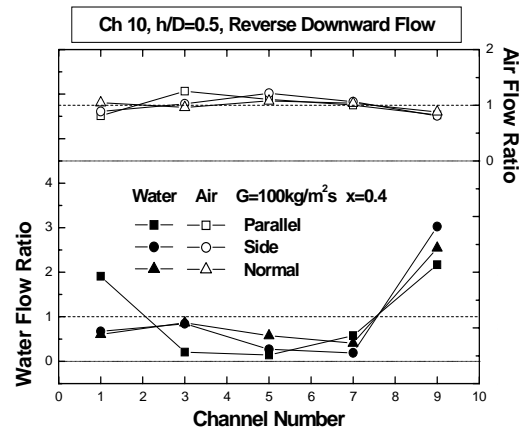


Fig. 6 Effect of inlet orientation on air and water flow distribution at $G = 100 \text{ kg/m}^2\text{s}$, $x = 0.4$, $h/D = 0.5$

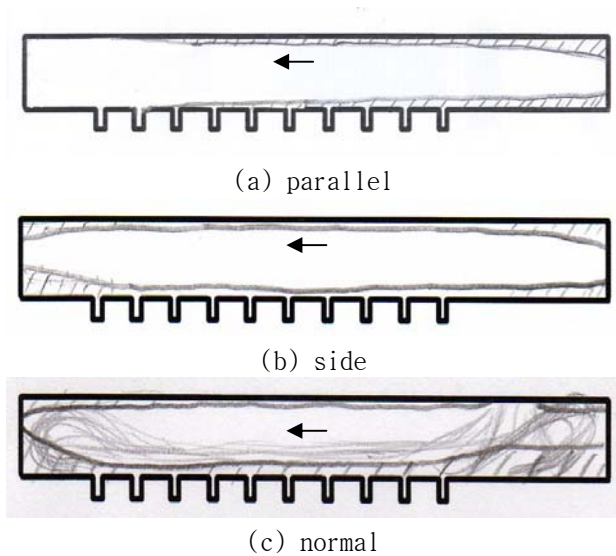


Fig. 5 Flow distribution sketches at $G = 100 \text{ kg/m}^2\text{s}$, $x = 0.4$, $h/D = 0.0$

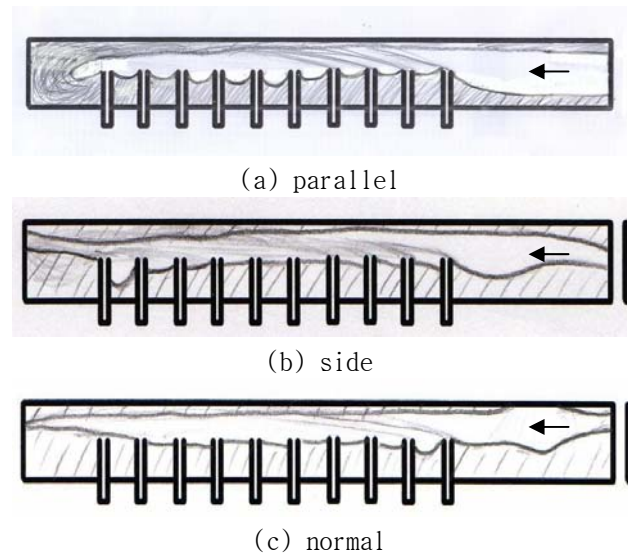


Fig. 7 Flow distribution sketches at $G = 100 \text{ kg/m}^2\text{s}$, $x = 0.4$, $h/D = 0.5$

헤더의 반대편에 부딪히면서 전방 채널을 우회하여 후방으로 공급되기 때문이다. 수직유입의 경우는 헤더 상부에서 유입된 물이 하부에 부딪히고 층돌 반력에 의하여 헤더의 후방까지 공급되는 것으로 확인되었다. 물 유량비의 표준편차는 평행유입에서 0.64, 측면 유입에서 0.39, 수직유입에서 0.30 으로 수직유입의 유량 분배가 가장 좋게 나타났다. 공기의 유량분배는 물과는 반대의 경향을 보인다. 공기 유량비의 표준편차도 평행유입에서 0.08, 측면 유입에서 0.08, 평행유입에서 0.02 로 수직유입의 유량 분배가 가장 좋게 나타났다.

이러한 경향은 다른 질량유속과 건도에서도 동일하였다.

Fig. 6 에 $G = 100 \text{ kg/m}^2\text{s}$, $x = 0.2$, $h/D = 0.5$ 에서 유입 방향에 따른 유량 분배를 나타내었다. 이 그림도 유입 방향이 유량 분배에 영향을 미치고 그 영향은 헤더 전반부에 더욱 현저하게 나타남을 보여준다. 평행 유입의 경우 첫번째 채널로 많은 물이 흐르나 측면과 수직 유입의 경우는 그 양이 현저히 줄어들 수 있다. 이 그림은 또한 헤더 후방 채널의 경우는 유입 방향의 영향이 크게 나타나지 않음을 보여준다. 이는 평판관이 채널 중앙까지 삽입되어

후방으로 갈수록 유입 방향의 영향이 감소하기
때문으로 판단된다. 물 유량비의 표준편차는
평행유입에서 0.48, 측면 유입에서 0.58,
수직유입에서 0.44 로 수직유입의 유량 분배가
가장 좋게 나타났다. 공기 유량비의 표준편차도
평행유입에서 0.08, 측면 유입에서 0.09,
평행유입에서 0.04 로 수직유입의 유량 분배가
가장 좋게 나타났다. 다른 질량유속과 건도에서도
수직 유입의 표준 편차가 가장 적게 나타났다.
평행 유입과 측면유입의 경우는 낮은 질량유속과
건도에서는 평행유입의 표준편차가, 질량유속과
건도가 높아질수록 측면유입의 표준편차가 적게
나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 원형헤더와 10 개의 평판관으로
이루어진 시험부에서 물-공기를 사용하여 유입
유량분배에 미치는 영향을 검토하였다. 주된
결론은 다음과 같다.

- (1) 헤더 내로 평판관이 돌출되지 않은 경우
수직유입, 측면유입, 평행유입의 순으로
유량분배가 좋게 나타났다. 수직유입의
경우는 헤더 상부에서 유입된 물이 하부에
부딪히고 충돌 반력에 의하여 헤더의
후방까지 공급되기 때문으로 판단된다.
- (2) 헤더 내로 평판관이 삽입될수록 헤더 후방의
유량분배는 유입 방향의 영향을 적게 받는
것으로 나타났다.
- (3) 헤더 중심까지 평판관이 돌출된 경우에도
유량분배는 수직 유입에서 가장 좋게
나타났다. 평행 유입과 측면유입의 경우는
낮은 질량유속과 건도에서는 평행유입의
표준편차가, 질량유속과 건도가 높아질수록
측면유입의 표준편차가 적게 나타났다.

후 기

상기 연구는 2006 년도 한국 학술진흥 재단
지역대학 우수과학자 육성지원 연구 사업의
지원으로 수행되었습니다.

- (1) Watanabe, M., Katsuda, M. and Nagata, K., 1995,
“Two-phase flow distribution in multi-pass tube
modeling serpentine type evaporator,” ASME/JSME
Thermal Engineering Conf., Vol. 2, pp. 35 ~ 42.
- (2) Tompkins, D. M., Yoo, T., Hrnjak, P., Newell, T. and
Cho, K., 2002, “Flow distribution and pressure drop in
micro-channel manifolds,” 9th Int. Refrigeration and
Air Conditioning Conference at Purdue, R6-4.
- (3) Vist, S. and Pettersen, J., 2004, “Two-phase flow
distribution in compact heat exchanger manifolds,”
Exp. Thermal Fluid Sci., Vol. 28, pp. 209 ~ 215.
- (4) Lee, J. K. and Lee, S. Y., 2004, “Distribution of two-
phase annular flow at header-channel junctions,” Exp.
Thermal Fluid Sci., Vol. 28, pp. 217 ~ 222.
- (5) Cho, H., Cho, K. and Kim, Y., 2003, “Mass flow rate
distribution and phase separation of R-22 in multi-
microchannel tubes under adiabatic condition,” 1st Int.
Conf. Microchannels and Minichannels, pp. 527 ~ 533.
- (6) Rong, X., Kawaji, M. and Burgers, J. G., 1995,
“Two-phase header flow distribution in a stacked plate
heat exchanger,” FED-Vol. 225, Gas Liquid Flows, pp.
115 ~ 122.
- (7) Kim, N. H., Park, T. K., Han, S. P. and Shin, T. Y.,
2006, “Distribution of air-water two-phase flow in a
flat tube heat exchanger,” Korean Journal of Air
Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 18,
No. 9, pp. 687~697.
- (8) Bernoux, P., Mercier, P. and Lebouche, M., 2001,
“Two-phase flow distribution in a compact heat
exchanger,” Proc. 3rd Int. Conf. Compact Heat
Exchangers, pp. 347 ~ 352.
- (9) Bajura, R. A. and Jones, E. H., 1976, “Flow
distribution in manifolds,” J. Fluids Eng., Vol. 98, pp.
654 ~ 666.